

تغلیظ و شوری زدایی از آب دریا با استفاده از فرایند تشکیل هیدرات های گازی

سارا اسماعیلی^۱ و جعفر محمد زاده ی میلانی^۲

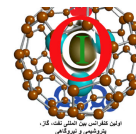
چکیده

هیدرات های گازی جامدات کریستالی شکل هستند که شامل مولکول های گاز احاطه شده با شبکه ای از مولکول های آب بوده و در رژیم های دمایی پایین یا فشارهای بالا شکل می گیرند. در این حالت مولکول های آب اطراف مولکول های گاز کریستالیزه می شوند که این گازها شامل هیدروکربن های سبک از متان تا هپتان، نیتروژن، دی اکسید کربن، سولفید هیدروژن و هیدروژن و... می باشد. فرایند تشکیل هیدرات های گازی در صنایع نفتی، صنایع غذایی و جداسازی گازهای گلخانه ای و صنایع دیگر کاربرد دارد. در این مطالعه، توجه ما بر روی کاربرد هیدرات های گازی در صنعت غذا است که در فرایندهای مختلفی از جمله تغلیظ، تصفیه فاضلاب، تولید شکر از ملاس، نمک زدایی آب دریا و ... استفاده می شود. در طول چند دهه اخیر، توجه ویژه ای به این ترکیبات شده است زیرا در مقایسه با تکنیک های دیگر، فرایند تشکیل هیدرات های گازی مقرون به صرفه تر می باشد. در ارتباط با فرایند تغلیظ با این روش می توان گفت که، ماده ی به دست آمده خواص مشابهی با محصول تغلیظ انجامادی دارد که در هر دو فرایند کیفیت محصول بسیار مناسب می باشد. در شیرین سازی آب دریا و تغلیظ با استفاده از فرایند تشکیل هیدرات های گازی بهترین گاز، گاز دی اکسید کربن می باشد چرا که باقی ماندن این گاز درون محصول مضر نیست.

کلمات کلیدی: هیدرات های گازی- تغلیظ- شیرین سازی آب دریا

1-مقدمه:

¹ - دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی کشاورزی- علوم و صنایع غذایی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی ساری، esmailisara67@yahoo.com،
² - دانشیار گروه مهندسی زراعی دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی ساری، jmilany@yahoo.com



تاریخچه‌ی هیدرات‌های گازی به سه دوره تقسیم می‌شود: a - دوره‌ی اول: این دوره از زمان کشف آن توسط Sir Humphery Davy در سال 1810 شروع شده و تا به حال ادامه دارد و مربوط به جالب بودن پدیده‌ی تشکیل هیدرات از نظر علمی است، چرا که تجمع آب و گاز در یک فاز جامد (هیدرات) از نظر علمی پدیده‌ی قابل توجهی است. (13)

b - دوره‌ی دوم: تقریباً از سال 1934 با بیان اینکه تشکیل هیدرات باعث بسته شدن خطوط انتقال گاز طبیعی می‌شود، شروع شده و تا به حال ادامه دارد. در این دوره Deaton و Frost بر روی شرایط تشکیل هیدرات آزمایشاتی انجام داده و نتایج آن را گزارش کردند. این دوره‌ی تشکیل هیدرات به عنوان مشکلی برای تولید کنندگان گاز طبیعی در نظر گرفته می‌شود. به عبارت دیگر، این بخش از تاریخچه‌ی هیدرات به ساخت صنایع و مشکلات ناشی از آن اختصاص دارد. (13)

C - دوره‌ی سوم: این دوره با کشف این حقیقت که طبیعت میلیون‌ها سال پیش از بشر، هیدرات‌ها را تولید نموده، از اواسط دهه‌ی 70 میلادی شروع شده و تا کنون ادامه دارد. این هیدرات‌ها در نواحی یخچالی اقیانوس‌های عمیق و همچنین در خارج از جو زمین در سیارات دیگری نظیر مریخ وجود دارد. (13)

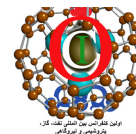
بر اساس تحقیقات انجام شده توسط claussen در سال 1951 که کریستال‌های هیدرات‌های گازی را با پراش اشعه‌ی X و تکنیک NMR بررسی کردند مشخص شد که هیدرات‌های گازی در سه ساختار متفاوت وجود دارند: ساختار I و ساختار II و ساختار H (10) در حالت طبیعی مولکول‌های آب که نقش میزبان را دارند بپیوند هیدروژنی به هم متصل اند و فرم آن به صورت ساختار شبکه‌ای با یکسری حفره است. قطر این حفره‌ها بین 780-920 pm است. (2). ترکیبات شبکه‌ای هیدرات‌های گازی به دو دسته تقسیم بندی شده‌اند: گونه‌هایی که در آن آب نقش میزبان را دارد که به آن شبکه‌ی آبی و یا به طور ساده شبکه‌ی هیدرات خوانده می‌شود و دسته‌ی دیگر شامل شبکه‌ای است که در آن آب نقش میزبان را ندارد. (2)

ساختار I هیدرات گازی :

واحد سلولی ساختار I شامل یک مکعب $A12^0$ می‌باشد که هر واحد ساختمانی آن از 46 مولکول آب و 8 حفره برای مولکول‌های گاز (حفره‌ی کوچک و بزرگ) تشکیل شده است (12). ساختار I هیدرات گازی زمانی تشکیل می‌شود که این حفره‌ها در فضا از قسمت رأس خود به یکدیگر متصل‌اند. (2) این ساختار از 2 حفره‌ی 12 وجهی 5 ضلعی و 6 حفره‌ی 14 وجهی تشکیل شده است. (13) مولکول‌هایی که ساختار I هیدرات گازی را تشکیل می‌دهند قطری در حدود 410 – 580 pm دارند (2).

ساختار II هیدرات گازی:

واحد سلولی ساختار II شامل یک مکعب $A17.3^0$ می‌باشد که هر واحد ساختمانی آن از 136 مولکول آب و 24 حفره برای مولکول‌های گاز (حفره‌ی کوچک و بزرگ) تشکیل شده است. (13) مولکول‌هایی که ساختار II هیدرات گازی را تشکیل می‌دهند قطری کمتر از 410pm و یا بیشتر از 550 pm دارند. (2) در این ساختار 16 حفره‌ی کوچک به صورت 12 وجه 5 ضلعی کج می‌باشد و 8 حفره‌ی شانزده وجهی که hexakaidecahedron نامیده می‌شود، که شامل 4 وجه شش ضلعی و 12 وجه 5 ضلعی می‌باشد. (13).



ساختار H هیدرات های گازی:

واحد سلولی ساختار H شامل یک شبکه ی 6 وجهی است که هر واحد ساختمانی آن از 34 مولکول آب و 6 حفره برای مولکول های گاز (حفره ی کوچک، حفره ی بزرگ و متوسط) تشکیل شده است. این ساختار هیدرات شامل سه حفره ی کوچک (12 وجه 4 ضلعی) و یک حفره ی بزرگ (12 وجه 5 ضلعی و 8 وجه 6 ضلعی) و دو حفره ی با اندازه ی متوسط که یک 12 وجهی است (3 وجه مربع، 6 وجه 5 ضلعی و 3 وجه شش ضلعی) تشکیل شده است (13). بر خلاف ساختار I و II که با اشغال شدن حفره های بزرگ و کوچک توسط یک نوع گاز تشکیل می شوند. در ساختار H حتماً باید دو نوع مولکول گاز برای حفره های کوچک و بزرگ وجود داشته باشد. (13)

2- کاربرد هیدرات های گازی :

1-2- صنایع غذایی

در صنایع غذایی از هیدرات های گازی استفاده های گوناگونی می شود که برخی هنوز به صورت تجاری در نیامده است در زیر به شرح کاربرد هیدرات های گازی در صنایع غذایی می پردازیم که هدف اصلی این تحقیق بوده است..

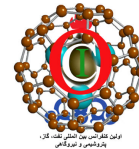
1-1-2- تغلیظ مواد غذایی مایع

تغلیظ با استفاده از هیدرات های گازی را می توان به صورت زیر توصیف کرد: هر گازی که توانایی هیدراته شدن را دارد به اجبار تحت شرایط دما و فشار ایده آل وارد محلول می شود. سپس کریستال های هیدرات گازی تشکیل شده از محلول نسبتاً غلیظ شده جداسازی می شود. فرایند جداسازی به وسیله ی سپراتورهای مکانیکی انجام می شود. در نهایت نیز کریستال های حاصله با بالا بردن دما یا کاهش فشار و یا ترکیبی از دو عامل گفته شده تجزیه می شوند. (3)

برای انتخاب گاز مناسب برای تغلیظ محلول ها باید از گازهایی استفاده شود که هیچ گونه تغییر شیمیایی در ماده غذایی ایجاد نکنند (این گازها فعالیت شیمیایی پایینی دارند) Yohanes aris Purwanto و همکارانش برای تغلیظ مواد مورد آزمایش خود از گاز زنون استفاده کردند زیرا بالاترین میزان حلالیت و بیشترین قابلیت را برای تبدیل شدن به فرم هیدرات دارد. (3)

شبکه ی هیدراتی در شرایط فشار و دمای مناسب تشکیل می شود به عنوان مثال آب و گاز پروپان در دمای 278/3 درجه ی کلون و فشار 0/545 مگاپاسگال شبکه ی هیدراتی را تشکیل می دهند (5). در کریستال هیدرات پیوند ضعیف از نوع واندروالس بین گاز و آب وجود دارد (1).

این روش از بسیاری جهات به فرایند تغلیظ انجمادی شبیه است. زیرا در هر دو درون محلول کریستال های تشکیل می شود که در مرحله ی بعد این کریستال ها جداسازی شده و محلول تغلیظ می شود زیرا بخشی از فاز کریستال را آب تشکیل می دهد. اما از نقطه نظر اقتصادی فرایند تغلیظ ماده ی غذایی با استفاده از هیدرات های گازی نسبت به تغلیظ انجمادی به صرفه تر است زیرا کریستال های هیدرات می توانند در دمای بالاتر از نقطه ی انجماد آب تشکیل شوند در نتیجه نیاز به کاهش دما تا نقطه زیر صفر درجه ی سانتیگراد نیست و این مسئله باعث صرفه جویی در انرژی می شود (5 و 3)

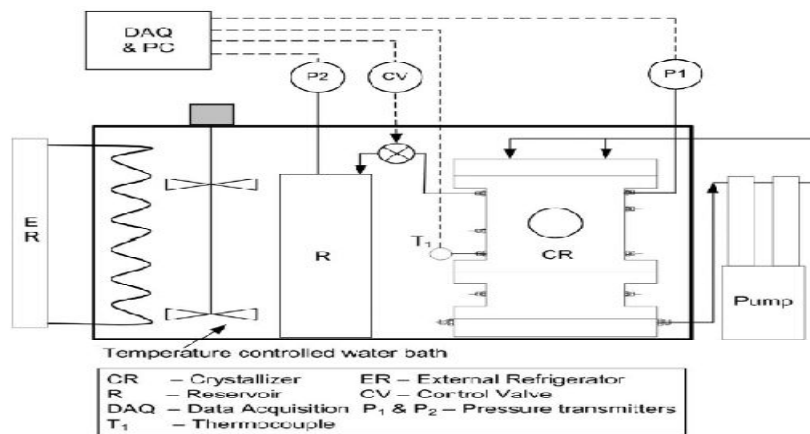


در تغلیظ با استفاده از هیدرات‌های گازی شکل گرفتن ساختار II هیدرات مناسب تر و سود آورتر است در حالی که ساختار I هیدرات مقاومت بالاتر و تعداد کمتری از کریستال‌ها را تشکیل می‌دهد. (6)

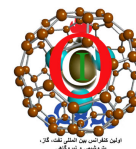
1-1-1-2- تجهیزات مورد استفاده در فرایند شکل گیری کریستال هیدرات گازی

شکل 1 نشان دهنده‌ی این تجهیزات است. کریستالیزر (CR) به وسیله‌ی لوله‌هایی توسط مخزن گازه‌ای تشکیل دهنده‌ی هیدرات (SV) تغذیه می‌شوند. کریستالیزر و مخزن گاز هر دو در حمام آبی غوطه‌ورند که دمای آن با یک فریزر خارجی (ER) تنظیم می‌شود. دو فشارسنج (P₁ و P₂) مدل 3051 برای اندازه‌گیری فشار با حدود اطمینان 0/75% به کار گرفته می‌شود. دمای فاز هیدرات و فاز گازی در کریستالیزر با استفاده از یک ترموکویل امگا مس - کنستانتین (T₁) اندازه‌گیری می‌شود. حدود اطمینان و یا درصد خطای این ترموکویل 0/1 درجه‌ی کلونین می‌باشد. یک دریچه‌ی کنترل که به یک کنترل کننده PID مجهز شده است می‌تواند آزمایش تشکیل هیدرات را در یک فشار ثابت انجام دهد. سیستم دریافت داده‌ها (DAQ) در طول آزمایش به یک رایانه به منظور ضبط داده‌ها متصل شده است و همچنین این سیستم به یک شیر کنترل اتصال یافته است. برای پردازش داده‌ها از نرم افزار Labview7.0 استفاده می‌شود. این دستگاه همچنین به یک شیر اطمینان مجهز شده است (4)

شکل 1: نمایی از تجهیزات لازم برای تغلیظ مواد غذایی با استفاده از هیدرات های گازی

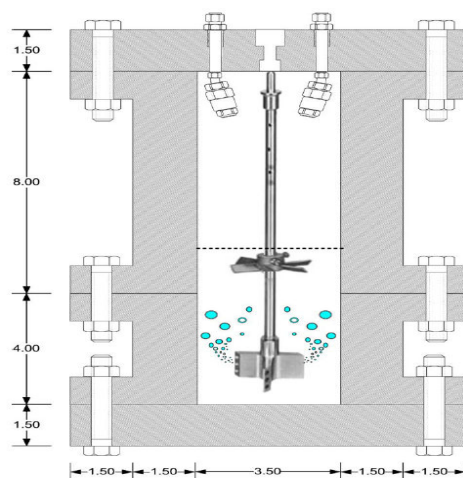


شکل 2 سطح مقطع عرضی کریستالیزر را که حجم کلی آن $1892/7 \text{ cm}^3$ است نشان می‌دهد. می‌توان کریستالیزر را به دو قسمت تقسیم کرد قسمت بالایی و پایینی. کریستالیزر مجهز به همزن مکانیکی است و این همزن هندسی منجر به افزایش تماس آب - گاز و افزایش نرخ تبدیل آب به هیدرات می‌شود. همزن مکانیکی یک شفت است که آرایش خاصی با پروانه‌ها دارد. این نوع پروانه‌ها به عنوان پروانه‌های الفاکر گاز شناخته شده‌اند. طرز قرارگیری پروانه‌ها به گونه‌ای است که زمانی که آزمایش تحت فشار بالا انجام می‌شود اجازه می‌دهد گاز به واسطه‌ی شفت از Head Space به داخل مایع به وسیله‌ی پرها جریان یابد. علاوه بر این همزن، یک پروانه درست زیر خط رابط (خط جداکننده‌ی فاز گاز و مایع) وجود دارد که به طور مداوم تماس بین گاز - مایع را افزایش می‌دهد. این امر کریستالیزر را قادر می‌سازد تا به گونه‌ای عمل کند که از تجمع کریستال‌ها در سطح مشترک جلوگیری شود بنابراین این چیدمان اجازه می‌دهد کریستالیزر عملیات را به گونه‌ای انجام دهد که ذرات کریستاله‌ی هیدرات در یک دوره‌ی زمانی طولانی به صورت معلق باقی بمانند. در نتیجه در مقایسه با کریستالیزرهای که همزن ساده



دارند تشکیل کریستال در مدت زمان طولانی تری انجام می شود (4) در نهایت نیز پس از اتمام مرحله ی کریستالیزاسیون، فشار در کریستالیزر به سرعت تا فشار جو می شکند و به کریستال های هیدرات اجازه می دهد به طور کامل جدا شوند. در مرحله ی آخر نیز به منظور جداسازی کامل مایع تغلیظ شده از کریستال ها از سپراتورهای مکانیکی مانند سانتریفوژ، غشاهای مخصوص، برج فیلتراسیون و ... استفاده می شود.

شکل 2: سطح مقطع عرضی کریستالیزر



تمام آزمایشات و تمام تجهیزات تشکیل هیدرات گازی در یک روش نیمه بچ با یک مقدار ثابت از آب و یک منبع مداوم گاز در دما و فشار ثابت انجام می شود. (4)

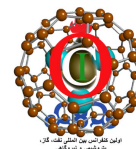
در فرایند تغلیظ به وسیله ی هیدرات های گازی باید به گونه ای عمل شود تا کریستال های درشتی تشکیل شوند تا جداسازی آنها راحت تر باشد. که برای دستیابی به این مورد می توان علاوه بر استفاده از تجهیزات فوق دمای تشکیل هیدرات را بالا برد (آزمایشات انجام شده برای گاز زنون) (3) همچنین هنگامی که نیروی محرکه ی بیشتری (سرعت بالاتر همزن) در کریستالیزر استفاده شود هسته سازی (فرایند تشکیل هسته ی کریستال) بیشتر از رشد کریستال ها انجام شده که در نتیجه باعث کاهش اندازه ی متوسط کریستال ها می شود. کوچک بودن کریستال ها باعث بروز مشکلاتی در مراحل بعدی پروسه می شود بنابراین بهترین ناحیه برای تشکیل کریستال ها، ناحیه ی نیمه پایدار متا است زیرا در ناحیه هسته سازی کم و رشد کریستال ها زیاد انجام می شود (6) به عنوان مثال قطر مناسب کریستال هیدرات در مطالعه ی انجام شده به وسیله ی J.SUGI و S.SATIO در حدود 500 میکرون می باشد. (6)

در تغلیظ با این روش، هر چه غلظت محلول اولیه بیشتر باشد زمان لازم برای شکل هیدرات نیز بیش تر می شود. (3)

2-1-2- نمک زدایی از آب دریا (شیرین کردن آب دریا)

بسیاری از کشورهای جهان از کمبود آب شیرین رنج می برند که علت این مسئله افزایش جمعیت و همچنین گسترش فعالیت های صنعتی است. در طول چند دهه ی گذشته آب دریا به یک منبع مهم آب تازه تبدیل شده است زیرا یکی از فراوانترین منابع آب بر روی زمین است.

کارخانه های قدیمی شیرین کننده ی آب دریا بر اساس چند مرحله فلش (MSF) تقطیر و اسمز معکوس (RO) که فرایندهایی قابل



اعتمادند عمل می کنند. اگرچه این فرایندهای نمک زدایی کامل هستند اما به منظور توسعه و کاهش هزینهی نمک زدایی تحقیقات گستردهای انجام شد. یکی از روشهای جدید استفاده از هیدراتهای گازی است. (10)

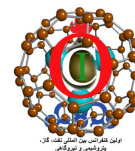
در سال 1960 و 1970 چندین فرایند نمک زدایی با استفاده از هیدراتهای گازی در مقیاس آزمایشگاهی انجام شد اما هرگز به صورت صنعتی در نیامد که علت آن جداسازی دشوار کریستالها از محلول Brine غلیظ و حذف گازهای باقی مانده تشکیل دهندهی هیدرات از آب بازیافتی است. (10)

بهترین گاز برای شیرین کردن آب، گاز، دی اکسید کربن است زیرا وجود این گاز در آب شرب مضر نیست (10). البته تحقیقات گستردهای با استفاده از گازهای مختلف برای تهیه آب قابل شرب انجام شده است برای مثال kopper co نمک زدایی از آب دریا را با استفاده از هیدرات پروپان انجام داد. (10) و kouji Maeda و همکارانش از فلوروکربنهایی مانند R-22 برای تهیهی آب قابل شرب استفاده کردند. از نظر آنها، از میان هیدراتهای گازی تنها فلوروکربنها می توانند تحت فشار متوسط و حرارت نسبتاً بالا استفاده شود. با توجه به خواص عالی فلوروکربنها می توان آنها را در یک سیستم بازیافت بسته به کاربرد حتی اگر در آینده استفاده از آنها بسیار محدود نشود. (9)

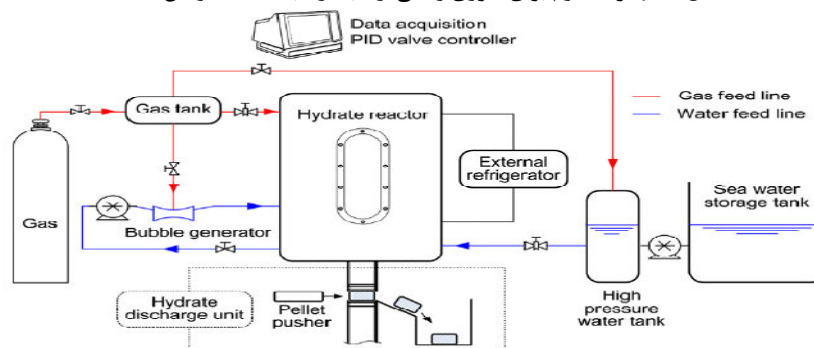
1-2-1-2- تجهیزات جدید به منظور نمک زدایی از آب دریا

شکل 3 نشان دهندهی شماتیک تجهیزات جدید طراحی شده است که از پنج قسمت تشکیل شده است. راکتور هیدرات با دو واحد سیلندر، خطوط خوراک دهی و تغذیهی آب و گاز، پمپ گردشی با ژنراتور حبایی و واحد ترشح کنندهی (انتشار دهنده) هیدرات بخش اصلی دستگاه، ژاکت راکتور هیدرات است که از استیل ضد زنگ 316 ساخته شده و دارای حجمی حدود 1800 cm^3 می باشد علاوه بر این، راکتور دارای دو واحد سیلندر، دو پنجره برای مشاهدهی پلی کربناتها، یک سنسور (حس گر) سطح آب و یک سوپاپ تخلیه می باشد. به منظور کنترل دما، یک مایع میرد (محلول آب - اتیلن گلیکول) بین ژاکت دوبلکس (دولایه ای) راکتور و یک یخچال خارجی در گردش است. در این تجهیزات، سه فشارسنج و پنج ترموکوپل مس - کنتسانتین برای اندازه گیری فشار و دمای راکتور هیدرات، تانک گاز و تانک آب به کار رفته است. فشار تانک گاز و تانک تغذیهی آب نسبت به راکتور هیدرات بالاتر نگه داشته می شود تا آب و گاز از میان دریچه های کنترل مجهز به کنترلر PID وارد راکتور هیدرات شوند.

در این تجهیزات، پمپ گردشی فشار بالا و لولههایی از نوع ژنراتور حبایی به منظور مخلوط کردن محتویات راکتور به کار می رود. آزمایشات اولیه نشان می دهد که اندازهی متوسط حبابهای گاز در حدود 10 میکرون بود که با استفاده از میکروسکوپ نوری تعبیه شده در پنجرهها تعیین شد (10)



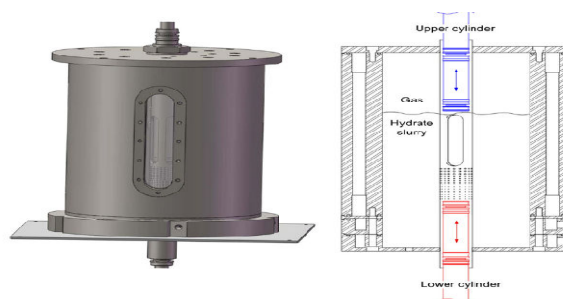
شکل 3: تجهیزات لازم برای شوری زدایی از آب دریا با استفاده از این تکنیک



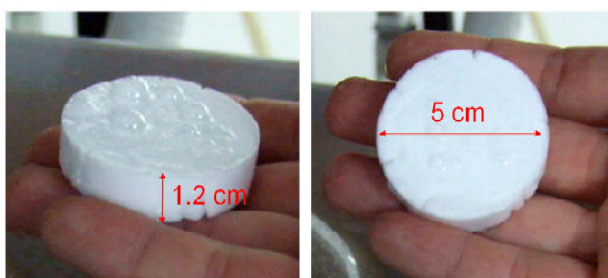
همانطور که در شکل 4 نشان داده شده است، راکتور هیدرات شامل دو واحد سیلندر با یک پیستون است که به صورت عمودی در لوله‌ی اتصال متحرک‌اند. لوله‌ی اتصال حفره‌های متفاوتی از لحاظ شکل و اندازه دارند. حفره‌ها و سوراخ‌های بزرگتر (سوراخ اصلی) کانالی را برای عبور مخلوط و با دوغاب هیدرات به داخل لوله اتصال فراهم می‌کنند. هنگامی که مقدار کافی از دوغاب هیدرات به درون لوله‌ی اتصال کشیده شد، قسمت بالایی پیستون به سمت پایین حرکت می‌کند تا دوغاب فشرده شود. سپس دوغاب هیدرات فشرده شده به وسیله‌ی ضربه‌ی سیلندرها فشرده تر می‌شوند و آب نمک زدایی شده از سوراخ‌های کوچک خارج می‌شود. پیستون با فشار هیدرولیکی حدود 50-150 کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع عمل می‌کند چنین ضربه‌هایی که به منظور فشردن انجام می‌شود به منظور دستیابی به ضخامت مطلوب پلت‌ها (گلوله‌های) هیدرات تکرار می‌شود. پس از فرایند فشرده سازی پیستون بالایی و پایینی به سمت پایین حرکت می‌کنند

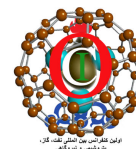
پلت‌های هیدرات خارج شوند. شکل 5 نمایی از این پلت‌ها را نشان می‌دهد. (10)

شکل 4: مقطع عرضی کریستالیزر



شکل 5: پلت خروجی از کریستالیزر





پس از استخراج پلت‌های هیدرات گازی، پیستون بالا و پایین به حالت اولیه باز می‌گردند تا دوباره یک فرایند جدید آغاز شود.

زمان انجام این فرایند در حدود 150 دقیقه بعد از هسته سازی است. فشار و دمای آزمایشگاهی در این روش 2/9 مگاپاسگال و 280 کلوین است. در این روش، حدود 78٪ نمک آب دریا حذف می‌شود. این تجهیزات جدید می‌تواند شکل جداسازی کریستال‌های هیدرات از محلول Briue غلیظ شده را حل کند و نسبت به سایر فرایندهای نمک زدایی مثل فناوری غشایی مقرون به صرفه‌تر است (10) البته باید توجه داشت که هزینه‌ی تولید آب شیرین از آب دریا به دمای آب و تعداد مول آب آشامیدنی تولیدی به ازای هر مول از آب دریا بستگی دارد. مطالعات زیادی نشان می‌دهد که تشکیل هیدرات‌های گازی در غیاب هر گونه پروموتور هیدرات ممکن است از لحاظ اقتصادی در مقایسه با روش‌های سنتی شیرین کردن آب نامناسب باشد. در نتیجه واضح است که وجود یک پروموتور تشکیل هیدرات را مناسب می‌تواند به طور قابل توجهی هزینه‌ی انرژی فرایند را کاهش دهد و در نهایت منجر به تولید آب تازه قابل شرب با هزینه‌ی پایین شود. (1) بر اساس مطالعه‌ی انجام شده توسط Kouji Maeda و همکارانش می‌توان گفت وجود شارژ و ویراسیون اولتراسونیک می‌تواند دمای تشکیل هیدرات را در فرایند نمک زدایی از آب دریا بهبود بخشد. (9)

3- انتخاب بهترین گاز :

برای انتخاب بهترین گاز مورد استفاده در فرایندهای مختلف باید به فاکتورها متعددی توجه کرد. از جمله اینکه، کدام گاز قادر است در دمای بالاتر از صفر درجه‌ی سانتیگراد و در فشار نزدیک به فشار اتمسفر هیدرات تشکیل دهد. این فاکتور اولین و مهمترین عامل است زیرا تشکیل هیدرات گازی باید در دمای بالاتری از نقطه‌ی انجماد محلول انجام شود تا در مصرف انرژی نسبت به تغلیظ انجمادی صرفه جویی شود. دومین فاکتور این است که گاز مورد استفاده از لحاظ زیست محیطی قابل مصرف باشد، به عنوان مثال ماده‌ی تشکیل دهنده‌ی هیدرات سمی نباشد، از پتانسیل کمی برای تخریب لایه‌ی ازن برخوردار باشد، توانایی کمی در گرم کردن کره‌ی زمین داشته باشد و همچنین قابل اشتعال و قابل انفجار نباشد. فاکتور سوم، حلالیت ماده‌ی تشکیل دهنده‌ی هیدرات در آب است. این عامل، نقش مهمی در تعیین مرحله‌ی جداسازی دارد (8).

4- نتیجه گیری

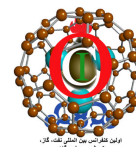
استفاده از هیدرات‌های گازی در صنایع غذایی معمولاً برای غذاهای حساس به حرارت و محلول‌های ویسکوز به کار می‌رود. همانطور که گفته شد این روش از بسیاری جهات شبیه به فرایند تغلیظ انجمادی است ولی به دلیل اینکه کریستال‌های هیدرات در دمای پایین‌تری نسبت به کریستال‌ها یخ تشکیل می‌شوند از لحاظ اقتصادی روش تشکیل هیدرات‌های گازی مقرون به صرفه‌تر است. لازم به ذکر است که یکی از عوامل هم در تصمیم‌گیری برای ساخت تجهیزات جدید نیز که قرار است جایگزین روش‌های قدیمی شوند عامل اقتصادی است. در بسیاری از فرایندهای گفته شده هنوز هیدرات‌های گازی به صورت تجاری در نیامده‌اند و تلاش است با به کارگیری تغییراتی در روش‌ها و دستگاه‌های استفاده شده، هیدرات‌های گازی را در مقیاس صنعتی به کار برند.

مراجع

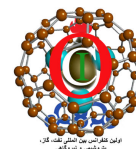
[1] Ali Eslamianesh et al ., (2001), *Application of gas hydrate formation in separation processes: A review of experimental studies*, J. chem. thermodynamics.

[2] Peter Englezos.,(1993) *clathrate Hydrate* , Ind. Eng . chem. Res

[3] Yohanes Aris purwanto et al .,(2001), *concentration of liquid Foods by the use gas hydrate* , Journal of food Engineering



- [4] Praveen Linga; et al .,(2010), *A new apparatus to enhance the rate of gas hydrate formatin: Application to capture of carbon dioxide*, International Journal of Greenhouse Gas control
- [5] P.Englezos., *The freeze concentration process and its Application* , Department of chemical Engineering
- [6] J. Sugi and S.Satio , *concentration and Demineralization of sea water by the hydrate process* , Japan
- [7] Yee Tak Ngan and peter Englezos., (1996), *concentration of Mechanical pulp*,Ind. Eng. Chem. Res
- [8] Cathrine Gaarder et al ., (1994),*crystallization of mechanical pulp mill Effluents through hydrate formation for Recovery of waer*,.
- [9] Kouji Maeda. Et al , . (2008) ,*Concentration of sodium chloride in aqueous solution by chlorodi floromethane gas hydrate*, chemical Engineering and processing
- [10] Kyeong – nam Park. Et al , (2011) , *A new apparatus for seawater desalination by gas hydrate process and removal characteristics of dissolved minerals (Na+, Mg2+, Ca2+, k+, B3+)*
- [11] Patrick et al (1987)., *suger crystallization from beet juices and molasses using the hydrate freezing process*,.
- [12] میلانی جعفر ، استفاده از هیدرات های گازی در فرآوری مواد غذایی، گروه علوم و صنایع غذایی دانشگاه علوم پزشکی و منابع طبیعی



concentration and salinity of sea water using gas hydrate formation process

sara esmaili ^{*1} and jafar milani²

1 - Graduate student in Agricultural Engineering - Food Science and Technology, Agriculture and Natural Resources University of Surrey, esmailisara67@yahoo.com

2- Associate Professor of Agricultural Engineering, Agricultural and Natural Resources University of Surrey. Jmilany@yahoo.com

Abstract

Gas hydrates are solid crystalline form, which includes a gas molecule surrounded by a network of water molecules and they formed at low temperature regime or high pressure. In this case, the water molecules crystallized around these gas molecules, that these gases contain volatile hydrocarbon from methane to heptanes , nitrogen, carbon dioxide, hydrogen sulfide, hydrogen and etc .Gas hydrate formation process is applicable in oil industries, food industries, In this study we focus on separation of greenhouse gases and other industries. the use of gas hydrate in the food industry which has applications in various processes such as concentration, wastewater treatment, production of sugar from molasses, sea water desalination and etc. During recent decades, these compounds has highly regarded because this technique in compared with other processes is more economical.

Keywords: Gas hydrate, food industry, concentration, hydrocarbon